

EVALUASI TINGGI EMBANKMENT JALAN PADA TANAH LUNAK DIPERKUAT GEOTEXTILE DAN FONDASI CERUCUK

Suyuti¹⁾, Muhammad Rizal²⁾

Program Studi Teknik Sipil Universitas Khairun

email: suyuti@unkhair.ac.id¹⁾, muhrizal@unkhair.ac.id²⁾

Abstrak

Kalimantan memiliki daratan rendah tanah lunak mencapai kedalaman 25 m. Tanah lunak memiliki kapasitas dukung rendah dan deformasi besar untuk menopang beban-beban. Infrastruktur seperti embankment untuk konstruksi jalan di atas tanah dasar lunak, biasanya direncanakan dengan suatu tinggi rencana. Meskipun, embankment untuk konstruksi jalan adalah sering runtuh akibat lemahnya kekakuan tanah dasar tersebut.

Terdapat beberapa pedoman teknik telah dipublikasikan bagaimana cara membangun embankment di atas tanah lunak, tetapi pedoman tersebut adalah hanya menunjukkan prosedur kerja konstruksi. Dimana, ujung pangkal fondasi *cerucuk* seperti kayu atau bambu adalah diikat dengan cara konvensional. Konstruksi embankment harus memenuhi untuk kriteria stabilitas dan penurunan.

Penelitian ini, pemenuhan persyaratan stabilitas seperti faktor keamanan embankment adalah dihubungkan dengan kapasitas dukung tanah lunak dengan perkuatan untuk mengevaluasi tinggi embankment disediakan dengan beberapa formula empiris berdasarkan aturan geoteknik. Hasil simulasi perhitungan adalah diperoleh tinggi embankment kritis $H_{cr} = 1,06$ m untuk kohesi tanah $c_u = 11,5$ kN/m² dan $H_{cr} = 1,70 \sim 1,73$ m untuk kohesi $c_u = 17,5$ kN/m² dengan fondasi *cerucuk* berjarak $s = 10D$. Variasi susunan *cerucuk* berjarak s of $3,3D$ adalah memberikan nilai signifikan kapasitas dukung batas dan konstruksi embankment lebih tinggi, hal ini adalah tidak memberikan nilai signifikan oleh indeks plastisitas tanah.

Kata kunci: *tinggi embankment, tanah lunak, geotextile, fondasi cerucuk*

Abstract

Kalimantan island has lowlands of soft soil in down depth 25 m. The soft soil has low bearing capacity and large deformation to support loads. Infrastructure such as embankment for road construction on the soft soil, it is usually planned by a height target. However, the embankment for road construction is often collapsed due to weak stiffness of soil subgrade. Therefore, the local government has been used geotextile and installed timber pile for reinforcing the soft soil.

There are several technique guidelines published how to build embankment on soft soil, but that guidelines are only shown the procedure for working the construction. The soft soil installed timber pile perior to lay geotextile and construct an embankment. Where the top of cerucuk foundation such as timber or bamboo is tied by conventional system. The embankment construction have to satisfy for stability and settlement criteria.

In this research, the stability requirement such as factor of safety of embankment is conducted by bearing capacity of soft soil with reinforcement to evaluated a critical height of its embankment, which is provided by several empirical formula based on rule of geotechnics. The simulation results were obtained critical height of embankment H_{cr} of 1,06 m for soil cohesion $c_u = 11,5$ kN/m² and $H_{cr} = 1,70 \sim 1,73$ m for cohesion $c_u = 17,5$ kN/m² with cerucuk foundation on spacing $s = 10D$. Variation of rearrange of cerucuk spacing s of $3,3D$ are given significant values of ultimate bearing capacities, and more heighly of embankment construction, it is not given a significant value by plasticity index of soil.

Keywords: *Embankment height, soft soil, geotextile, cerucuk foundation*

1. Latar Belakang

Kapasitas dukung batas tanah dasar adalah ditentukan oleh parameter seperti: kohesi (c), sudut gesek dalam tanah (ϕ), dan berat volume tanah (γ). Tanah dasar lunak atau tanah gambut memiliki parameter tanah tersebut adalah rendah, sehingga kekakuan tanah juga menjadi kecil dan memiliki deformasi besar.

Terdapat banyak area daratan rendah yang tertutup tanah lunak atau tanah gambut di Indonesia. Dimana salah satunya, area daratan tertutup tanah lunak atau gambut seperti di bagian selatan pulau Kalimantan. Yudiawati dan Marzuki (2008) telah melaporkan bahwa di Banjarmasin-Kalimantan Selatan terdapat lapisan tanah lunak mencapai kedalaman sekitar 25 m. Hal ini bahwa pekerjaan konstruksi jalan di atas area tersebut di atas akan dapat mengalami permasalahan keruntuhan.

Nenek moyang orang lokal Indonesia telah menerapkan konsep pondasi perkuatan mekanis tradisional (*cerucuk*) seperti kayu atau bambu untuk meningkatkan nilai kekakuan tanah dasar lunak. Begitupun, instansi teknik Departmen Pekerjaan Umum (PU) telah menerbitkan beberapa pedoman teknis prosedur pelaksanaan konstruksi embankment untuk jalan di atas tanah lunak atau tanah gambut.

Sayangnya, prosedur pelaksanaan dan cara perhitungan konstruksi embankment jalan ini adalah masih sulit untuk diterapkan menentukan dan mengevaluasi tinggi target embankment jalan di atas tanah lunak. Karena lokasi pekerjaan konstruksi jalan akan berbeda dan parameter tanah dasar akan bervariasi.

Adriani dan Herliyana (2012) melaporkan bahwa pembangunan timbunan konstruksi pelebaran jalan Simpang Serapat KM.17 Lingkar Utara, Kalimantan Tengah, dimana lapisan tanah dasar telah diperoleh berjenis tanah rawa atau tanah lunak. Mereka melaporkan bahwa pembangunan timbunan jalan telah menggunakan perkuatan geotextile and kayu galam (D) = 10 cm, jarak antara tiang (s) = 1.0m, panjang (L) = 4 m. Dimana bahan perkuatan geotextile diletakkan di atas permukaan tanah, dan diperoleh tinggi embankment kritis di lapangan.

Suyuti dkk. (2020a) telah melakukan penelitian kapasitas dukung batas tanah dasar sangat lunak dengan matras (dimana tanah distabilisasi semen 10% yang diperkuat cerucuk). Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan pemasangan tiang-tiang bambu di dalam tanah lunak adalah mampu meningkatkan kapasitas dukung tanah dasar tersebut hingga mencapai $q_{ur} = 49 \text{ kN/m}^2$ atau setara dengan CBR 4,9%.

Penulis perlu mengusulkan metode evaluasi tinggi kritis embankment di atas tanah lunak diperkuat dengan geotextile dan fondasi *cerucuk*. Dimana usulan metode ini akan menggunakan persamaan-persamaan matematis berdasarkan konsep dasar geoteknik, seperti teori klasik kapasitas dukung batas tanah (q_u) Terzaghi dan Peck (1948).

2. Metode Penelitian

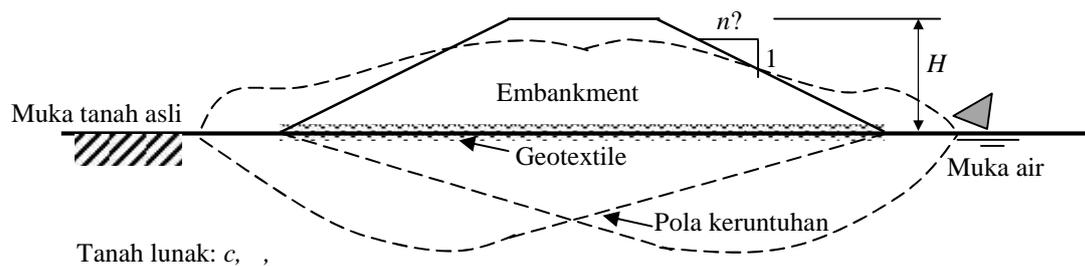
Metode penelitian adalah menggunakan studi literatur, data hasil penelitian sebelumnya dan simulasi-simulasi perhitungan tinggi kritis embankment.

2.1 Teori dasar

Rooseno (1989) telah melaporkan hasil penyelidikannya bahwa pemasangan fondasi *cerucuk* pada tanah lunak di bawah struktur sloef bangunan adalah telah mampu meningkatkan kapasitas dukung batas tanah (q_{ur}) dapat menjadi minimal 2,5 kali lipat (dimana: diameter (D) = 12cm, jarak antara tiang (s) = 40cm, panjang (L) = 6m).

Departemen Pekerjaan Umum (PU., 1999; 2002) telah mempublikasikan pedoman teknis prosedur pelaksanaan konstruksi embankment jalan di atas tanah lunak yang diperkuat *cerucuk* dengan prosedur seperti; 1) pemancangan fondasi *cerucuk* seperti kayu atau bambu, 2) pemasangan kayu gapit (arah melintang dan memanjang jalan), 3) meletakkan lembar geotextile, dan 4) konstruksi embankment.

Koerner dkk (1987) telah mempelajari bahwa embankment dibangun di atas pondasi tanah lunak yang diperkuat *geosynthetic*. Hal ini dapat diadopsi untuk mengevaluasi tinggi desain dengan menerapkan salah satu konsep model keruntuhan kapasitas dukung tanah dasar lunak sebagaimana ditunjukkan seperti Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Pola keruntuhan kapasitas dukung tanah dasar lunak diperkuat geotextile

dimana n = gradien rencana embankment, H = tinggi embankment.

Gambar 1 menunjukkan bahwa persamaan konvensional geoteknik untuk tekanan ijin embankment pada permukaan tanah dasar diperkuat geotextile (q_{ar1}) dapat ditulis:

$$q_{ar1} = \frac{q_{nr1}}{Fk} \quad (1)$$

Dimana q_{nr1} = kapasitas dukung batas fondasi tanah dasar lunak yang diperkuat geotextile, Fk = faktor keamanan.

Di dalam pedoman teknis bahwa meningkatkan kekakuan dan mereduksi penurunan tanah dasar akibat pembebanan, maka fondasi tanah dasar lunak dipancangkan *cerucuk* sebagai pondasi sebagaimana yang telah direkomendasikan oleh Departemen Pekerjaan Umum (PU., 1999; 2002).

Departemen Pekerjaan Umum (PU., 2005) telah mempublikasikan pedoman teknis uji coba lapangan konstruksi pondasi tanah lunak dengan sistem matras dan pemasangan *cerucuk*. Dimana konstruksi matras adalah tanah lunak quarry galian lokal distabilisasi. Selanjutnya, pengujian kapasitas dukungnya matras dievaluasi dengan menggunakan metode CBR lapangan. Lihat Gambar 2 berikut.

Adriani dan Herliyana (2012) melaporkan hasil kasus studi penelitiannya bahwa tinggi embankment kritis sebesar $H_{cr} = 1,40$ m dan tinggi embankment rencana (H_{renc}) sebesar 1,50 m. Dimana konsep perencanaan stabilitas konstruksi jalan bahwa tekanan pembebanan embankment (p_{eb}) adalah harus kurang dari kapasitas dukung bersih tanah dasar lunak dengan perkuatan geotextile dan kayu galam (q_{nr2}) dapat ditulis:

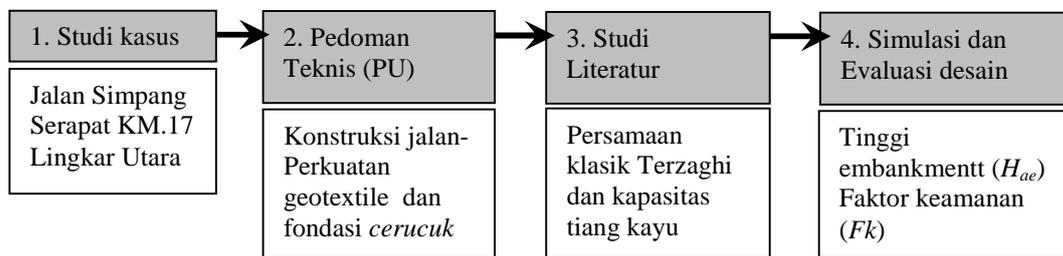
$$p_{eb} < q_{nr2} \quad (2)$$

Persamaan (2) di atas menunjukkan bahwa konstruksi jalan di atas tanah lunak dengan perkuatan dapat memberikan faktor keamanan (Fk) > 1.0.

Suyuti dkk (2020a) melaporkan hasil studi pemodelan skala penuh bahwa kapasitas dukung fondasi matras-tanah distabilisasi semen 10% di atas tanah sangat lunak yang diperkuat geo-bambu dan dipancang tiang-tiang bambu pola bujur sangkar (diameter $D = 8.07$ cm, jarak tiang $s = 3D$, panjang $L = 100$ cm). Penentuan kapasitas dukung fondasi matras dengan metode CBR lapangan dilaporkan sebesar 4,9%.

2.2 Metode penelitian

Penelitian ini adalah difokuskan pada metode evaluasi tinggi kritis konstruksi embankment jalan di atas tanah dasar lunak diperkuat geotextile dan fondasi *cerucuk*. Sebagaimana dijelaskan di dalam diagram alur Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Bagan alur pelaksanaan penelitian

Gambar 2 ditunjukkan bahwa metode pelaksanaan penelitian yang diusulkan ini adalah dijelaskan sebagai berikut.

1) Studi kasus: Sebagai studi kasus adalah konstruksi embankment jalan di atas tanah lunak yang diperkuat geotextile dan dipasang *cerucuk*. Tanah lunak seragam perlu diasumsikan bahwa kohesi tak terdrainase (c_u), sudut gesek dalam tanah (ϕ) dan berat volume tanah (γ) (Adriani dan Herliyana, 2012).

Bahan fabrikasi geotextile diasumsikan memiliki kuat tarik (T_{gt}).

2) Pedoman teknis: Pedoman teknis tentang prosedur pelaksanaan konstruksi embankment jalan di atas tanah lunak atau tanah gambut dengan perkuatan konvensional geotextile didukung fondasi *cerucuk* seperti ditunjukkan pada Gambar 3.

2.3 Penentuan kapasitas dukung batas

Fondasi tanah dasar lunak dengan sistem perkuatan konvensional seperti tanah dasar, geotextile, dan *cerucuk*. Sehingga kapasitas dukung bersih pondasi tanah dasar dengan *cerucuk* q_{nr} dapat ditulis (lihat Gambar 3):

$$q_{nr} = q_u + q_{gt} + (q_{cg} - \alpha_{sp} L) \tag{3}$$

1) Tanah dasar dengan kohesi c_u dan sudut gesek dalam ϕ . Kapasitas dukung batas tanah dasar (q_u) dengan lebar telapak memanjang B adalah dapat didefinisikan sebagai (Das, 1979):

$$q_u = c_u N_c + \alpha_s D_f N_q + \frac{1}{2} B \alpha_s N_\phi \tag{4}$$

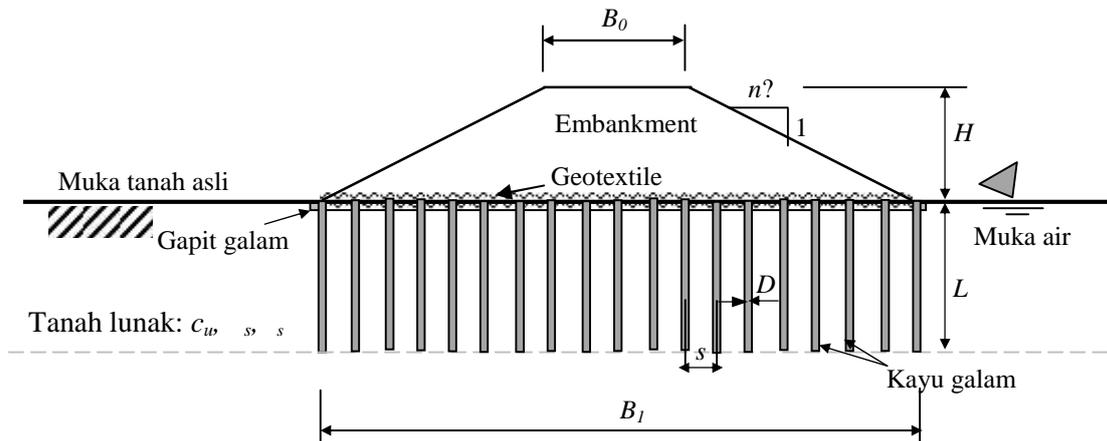
dimana N_q , N_c , N_ϕ = faktor-faktor kapasitas dukung tanah adalah dapat ditentukan (Das, 1979)

$$N_q = \exp(f \tan W_s) \tan^2 \left(45 + \frac{W_s}{2} \right) \tag{5a}$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot W_s \tag{5b}$$

$$N_x = 2(N_q + 1) \tan W_s \tag{5c}$$

c_u = kohesi tak terdrainase tanah lunak (kN/m^2); s = berat volume tanah (kN/m^3); B = lebar fondasi *cerucuk* (m) (Gambar 3); dan D_f = kedalaman pondasi (m).



Gambar 3. Konstruksi embankment jalan dengan sistem perkuatan konvensional

Untuk tanah dasar lunak lempung dengan ($s = 0^\circ$). Dari persamaan (4) dan (5). Kapasitas dukung batas tanah dasar lempung bawah tiang-tiang q_u (kN/m^2) adalah

$$q_u = c_u N_c \tag{6}$$

2) Perkuatan geotextile

Perkuatan dengan geotextile diletakkan di atas susunan balok gapit yang telah diperkuat oleh *cerucuk* (lihat Gambar 3). Idealisasi perhitungan kapasitas dukung tanah dasar diperkuat geotextile dan *cerucuk* adalah ditunjukkan pada Gambar 4.

Gambar 4. Menunjukkan bahwa kapasitas dukung batas tanah dasar yang diperkuat geotextile (q_{gt}) dapat ditentukan dengan (Suyuti dkk, 2020b):

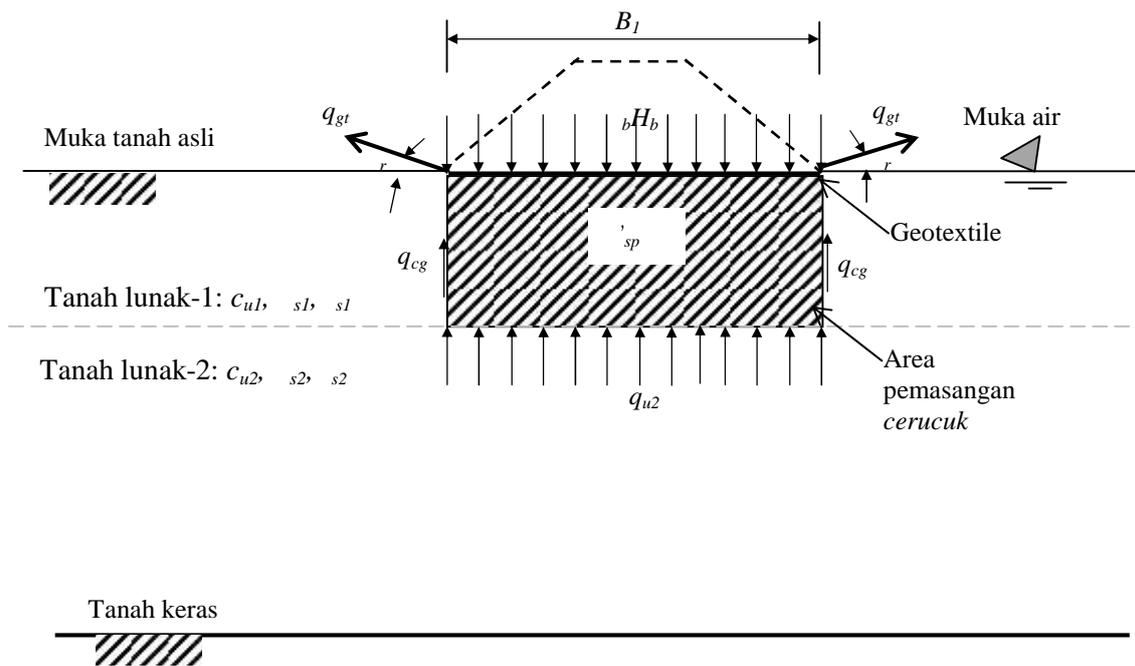
$$q_{gt} = \frac{2T_{gt} \sin W_r}{B_1} \tag{7}$$

Dimana kapasitas dukung tarik geotextile, dapat bekerja setelah diasumsikan terjadi terjadi deformasi sebagaimana yang diijinkan (Departemen PU., 2002).

Lebar bawah embankment B_1 adalah diperhitungan dengan persamaan:

$$B_1 = B_0 + 2nH_{renc} \tag{8}$$

dimana: r = sudut gesek antara geotextile dan permukaan material tanah, T_{gt} = gaya tarik material lembaran geotextile, H_{renc} = tinggi rencana embankment.



Gambar 4. Idealisasi perhitungan kapasitas dukung tanah dasar dengan fondasi cerucuk

3) Perkuatan fondasi *cerucuk*

Perkuatan dengan geotextile diletakkan di atas susunan balok gapit yang telah diperkuat oleh *cerucuk* (lihat Gambar 3). Dimana dalam studi kasus ini adalah tiang-tiang kayu galam dipasang dengan jarak (s) = 1 m (atau $s = 10D$). Sehingga kapasitas dukung batas pemasangan tiang-tiang kayu dengan jarak $s > 3D$ dapat dihitung dengan persamaan statis:

$$q_{cg} = \gamma \times c_u \tag{9}$$

Koefisien friksi *cerucuk* metode statis () (Kolk dan Velde, 1996):

$$\gamma = \left(0,5 \times \frac{L}{D}\right)^{-0,2} \times \left(\frac{c_u}{p'_0}\right)^{-0,3} \tag{10}$$

Rasio (c_u / p'_0), kohesi tanah tak terdrainase rata-rata sepanjang tiang (c_u) terhadap tekanan tanah efektif (p'_0) (Skempton, 1954):

$$\frac{c_u}{p'_0} = 0,11 + 0,0037 \times IP \tag{11}$$

dimana c_u = kohesi tanah sepanjang tiang, L = panjang tiang, D = diameter tiang, IP = Indeks Plastisitas tanah dasar lunak (satuan %).

Berat volume tanah setelah dipancangkan *cerucuk* $'_{sp}$ adalah dapat ditentukan (Suyuti dkk, 2020b).

$$X'_{sp} = \left[1 - n_p \left(\frac{fD^2}{4s^2}\right)\right] X'_{s1} + n_p \left(\frac{fD^2}{4}\right) X_p \tag{12}$$

$$X'_{s1} = X_{s1} - X_w \tag{13}$$

dimana: n_p = jumlah *cerucuk* dalam 1 meter persegi, γ_{s1} = berat volume tanah dasar sepanjang *cerucuk*, γ_p = berat volume tiang kayu, D = diameter tiang kayu, γ_{s1} = berat volume air yang terperangkap tanah.

2.4 Menentukan tinggi kritis embankment

Penentuan tinggi kritis embankment (H_{cr}) adalah dapat ditentukan dengan formula empiris dalam geoteknik sebagaimana telah dilaporkan untuk embankment diperkuat geotextile oleh Koerner dkk (1987). Selanjutnya, embankment di atas tanah lunak diperkuat geotextile dan *cerucuk* dapat ditentukan;

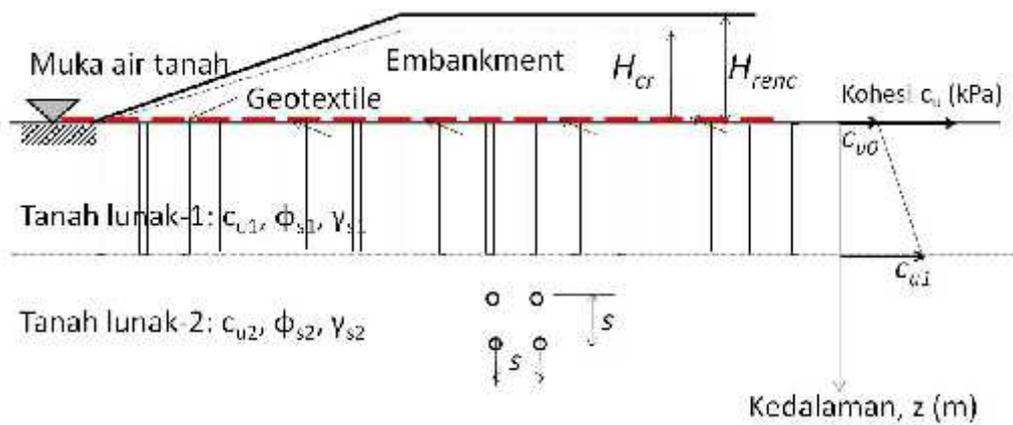
$$H_{cr} = \frac{q_{nr2}}{Fk\gamma_b} \tag{14}$$

dimana Fk = faktor keamanan, γ_b = berat volume tanah timbunan embankment.

3. Hasil dan Pembahasan

Konstruksi timbunan pelebaran jalan di atas tanah lunak di Simpang Serapat KM.17 Lingkar Utara (Adriani dan Herliyana, 2012), lihat Gambar 3. Dimensi dan parameter tanah embankment jalan seperti lebar atas $B_0 = 9,5\text{m}$, lereng $n = 1,5$, tinggi $H_{renc} = 1,5\text{ m}$, berat $\gamma_b = 20\text{ kN/m}^3$. Lebar bawah embankment tanah adalah diperoleh $B_1 = 14\text{ m}$.

Dimensi dan parameter sistem perkuatan dengan geotextile tarik $T_{gt} = 55\text{ kN/m}$ (Suheriyatna dkk., 2015). Pemancangan tiang-tiang kayu galam klas IIA dengan diameter (D) = 10 cm, jarak antara tiang (s) = 1 m, dan panjang (L) = 4 m. Parameter tanah dasar lempung seperti kohesi tak terdrainase rata-rata (c_u) = 18 kN/m^2 , berat volume (γ_s) = $14,6\text{ kN/m}^3$, sudut gesek tanah rerata diasumsikan (ϕ_s) = 0° yang kedalamannya (z) = 25m (Adriani & Herliyana, 2012). Di dalam rangka simulasi perhitungan tinggi kritis embankment (H_{cr}), maka perlu digunakan beberapa variasi Indeks Plastisitas tanah dasar (IP) seperti $IP = 7\%$ (rendah), $IP = 7 \sim 17\%$ (sedang), dan $IP = 27\%$ (tinggi), hal ini seperti pada Gambar 5.



(a) Konstruksi setengah-embankment

(b) Kohesi tanah

Gambar 5. Konstruksi setengah-embankment di atas tanah lunak diperkuat geotextile dan pondasi *cerucuk*

Kohesi rerata tanah dasar adalah dihitung dengan persamaan:

$$c_u = (c_{u0} + c_{u1}) / 2 \quad (14)$$

dimana c_{u0} = kohesi pada permukaan tanah dasar, c_{u1} = kohesi pada pemasangan *cerucuk*.

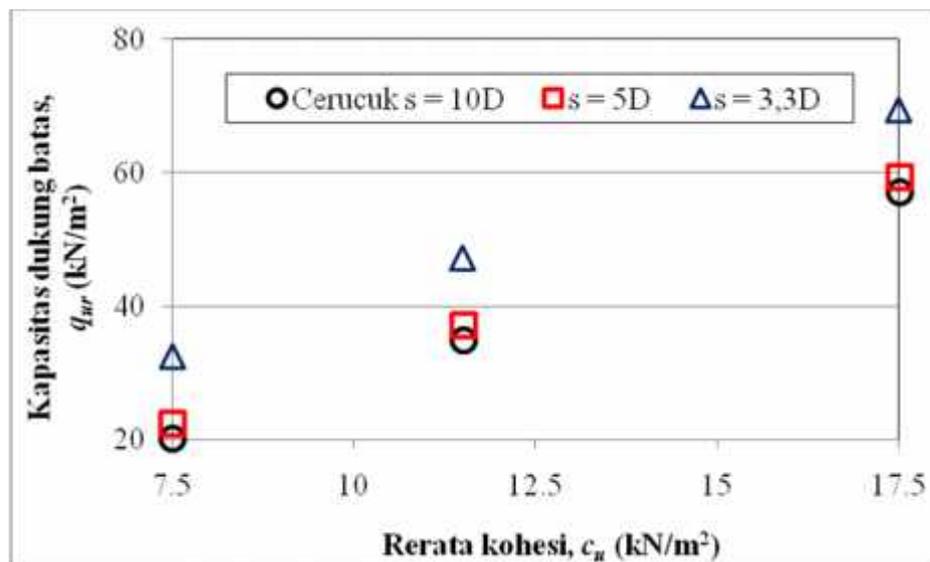
Simulasi perhitungan tinggi kritis embankment jalan adalah dibuat beberapa variasi parameter dan dimensi perkuatan seperti berikut.

1) Kohesi tanah dasar lunak (c_u) yang digunakan yang digunakan dalam simulasi sebagaimana dalam Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Digunakan parameter kohesi tanah dasar lunak

Parameter	PU., 2002	Nilai interpretasi	Adriani & Herliyana, 2012
Kohesi c_{u0} (kN/m ²)	5	8	10
Kohesi c_{u1} (kN/m ²)	10	15	25
Rerata c_u (kN/m ²)	7,5	11,5	17,5

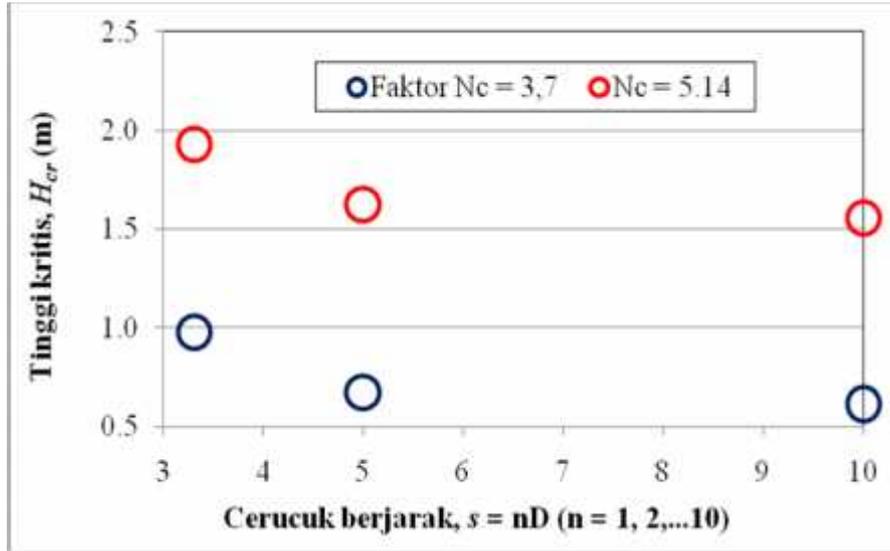
2) Kapasitas dukung batas tanah dasar yang diperkuat geotextile dan *cerucuk* dengan variasi jarak antara tiang s , serta menggunakan nilai indeks plastisitas $IP = 7\%$. Hasilnya dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Kapasitas dukung batas tanah dasar (q_{ur}) dengan variasi kohesi c_u ($IP = 7\%$)

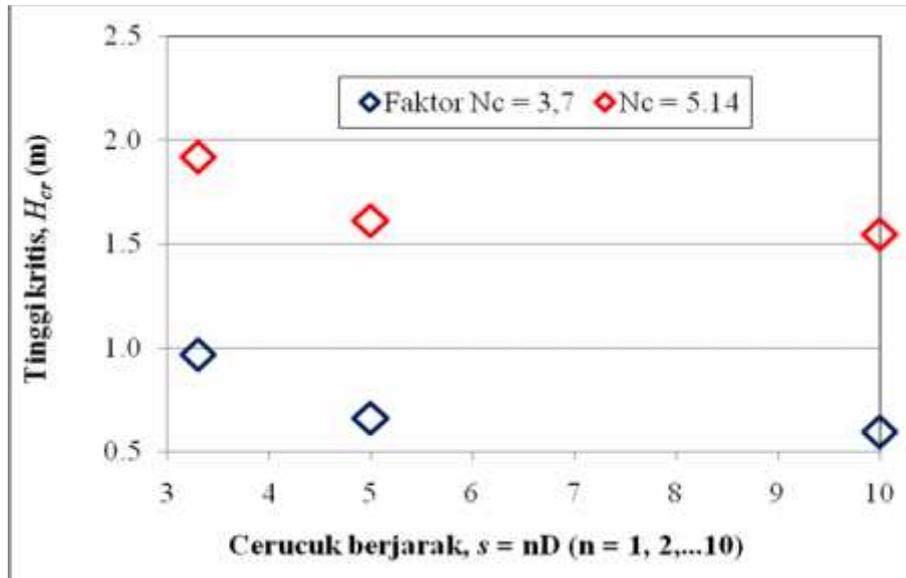
Gambar 6 menunjukkan bahwa tanah dasar diperkuat dengan *cerucuk* berjarak $s = 3,3D$ adalah memberikan peningkatan signifikan kapasitas dukung batas (q_{ur}) terhadap setiap variasi kohesi tanah c_u .

3) Perkuatan tiang dengan jarak $s = 3,3D$, $5D$ dan $10D$, rerata kohesi tanah dasar $c_u = 7,5$ kN/m², dan minimum faktor kapasitas dukung $N_c = 3,7$ (Koerner dkk, 1987), $N_c = 5,14$ (Das, 1979). Hasil simulasi perhitungan ditunjukkan pada Gambar 7, 8 dan 9.



Gambar 7. Tinggi kritis embankment (H_{cr}) dengan tanah nilai $IP = 7\%$

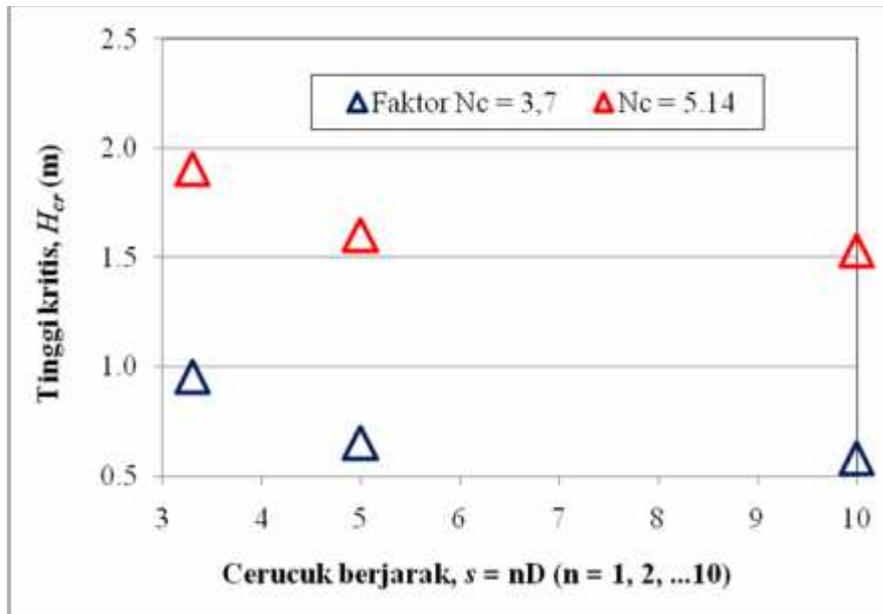
Gambar 7 menunjukkan bahwa dengan menggunakan nilai $Fk = 1,50$ untuk jalan klas II, telah diperoleh peningkatan tinggi kritis embankment (H_{cr}) dengan $IP = 7\%$, $c_u = 11,5 \text{ kN/m}^2$ dan cerucuk berjarak $s = 10D$ adalah sebesar $H_{cr} = 1,06 \text{ m}$ ($N_c = 3,7$), dan $1,56 \text{ m}$ ($N_c = 5,14$).



Gambar 8. Tinggi kritis embankment (H_{cr}) dengan tanah nilai $IP = 17\%$

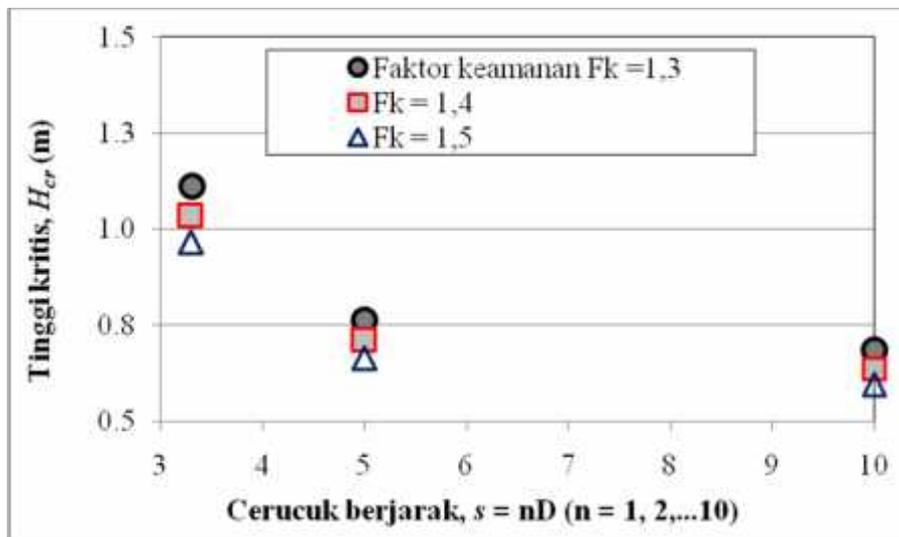
Gambar 8 dan 9 menunjukkan bahwa hasil simulasi perhitungan tinggi kritis embankment (H_{cr}) dengan nilai $IP = 17\% \sim 27\%$, $c_u = 17,5 \text{ kN/m}^2$ dan sebesar $H_{cr} = 1,7 \text{ m}$ ($N_c = 3,7$ dan dengan cerucuk berjarak $s = 10D$), dan $2,07 \text{ m}$ ($N_c = 3,7$ dan cerucuk berjarak $s = 3,3D$). Hasil simulasi perhitungan yang diperoleh adalah lebih besar tinggi rencana embankment $H_{renc} = 1,50 \text{ m}$. Namun hasil tersebut adalah belum

memperhitungkan tekanan beban akibat beban kendaraan di atas permukaan perkerasan jalan, serta pengecekan terhadap syarat penurunan embankment.



Gambar 9. Tinggi kritis embankment (H_{cr}) dengan tanah nilai $IP = 27\%$

4) Faktor keamanan $Fk = 1,3, 1,4$ dan $1,5$ (PU, 2002, 2005), rerata Indeks Plastisitas $IP = 17\%$ dan kohesi sangat lunak $c_u = 7,5\text{kN/m}^2$. Hasil simulasi adalah ditunjukkan pada Gambar 10.

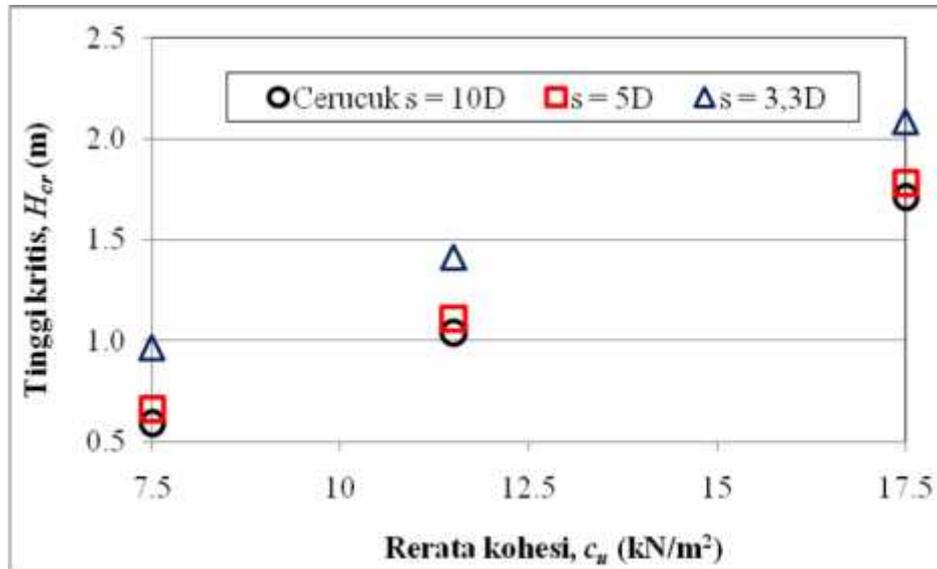


Gambar 10. Tinggi kritis embankment (H_{cr}) terhadap faktor keamanan (Fk)

Gambar 10 menunjukkan bahwa hasil simulasi perhitungan tinggi kritis embankment (H_{cr}) adalah lebih 1,25 m untuk $Fk = 1,3$, dan sementara H_{cr} kurang 1,03 m untuk $Fk = 1,4$ dan $1,5$. Selanjutnya, tinggi kritis embankment adalah diperoleh

signifikan pada *cerucuk* berjarak $s = 3,3D$. Sementara untuk tinggi kritis embankment H_{cr} adalah diperoleh kurang jarak tiang $s = 10D$ dan $s = 5,5D$.

(1) Stabilitas embankment diukur dengan faktor keamanan $Fk = 1,5$, kohesi tanah dasar $c_u = 7,5 \sim 17,5 \text{ kN/m}^2$ (Lihat Table 1). Hasil simulasi ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Tinggi kritis embankment (H_{cr}) terhadap rerata kohesi tanah lunak c_u .

Gambar 11 menunjukkan bahwa hasil simulasi perhitungan tinggi kritis embankment H_{cr} terhadap variasi rerata kohesi tanah dasar c_u dan $Fk = 1,5$, adalah diperoleh peningkatan linier terhadap pertambahan konsistensi tanahnya. Namun tinggi embankment kritis adalah diperoleh peningkatan signifikan untuk *cerucuk* berjarak $s = 3,3D$.

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Metode evaluasi stabilitas konstruksi embankment di atas tanah lunak diperkuat geotextile dan fondasi *cerucuk* dapat disimpulkan sebagai berikut:

- 1) Kapasitas dukung batas q_{ur} terhadap nilai indeks plastisitas tanah dasar IP adalah diperoleh penurunan relatif kecil. Namun, terjadi peningkatan yang cukup signifikan akibat penempatan jarak tiang kayu s .
- 2) Tinggi kritis embankment H_{cr} di atas tanah lunak dengan kohesi $c_u = 11,5 \text{ kN/m}^2$ diperkuat *cerucuk* berjarak $s = 10D$ adalah diperoleh $H_{cr} = 1,06 \text{ m}$. Sedangkan kohesi $c_u = 17,5 \text{ kN/m}^2$ adalah diperoleh $H_{cr} = 1,70 \sim 1,73 \text{ m}$.
- 3) Sementara nilai faktor minimal kapasitas dukung $N_c = 3,7$ adalah memberikan nilai lebih dekat terhadap rencana embankment (Koerner dkk, 1987). Hasil simulasi perhitungan tinggi embankment kritis H_{cr} adalah lebih dekat dengan faktor keamanan $Fk = 1,50$.
- 4) Di dalam hasil simulasi perhitungan bahwa variasi indeks plastisitas tanah (IP) adalah tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap peningkatan kapasitas dukung friksi fondasi *cerucuk*.

4.2 Saran

Simulasi perhitungan tinggi kritis embankment H_{cr} di atas adalah menggunakan parameter kapasitas dukung batas tanah dasar dengan beberapa perkuatan. Karena itu, penulis menyarankan perlu adanya penelitian stabilitas pengaruh pengaku/ cap konvensional kayu atau bambu terhadap gaya perlawanan tarik untuk metode perhitungan keruntuhan guling keseluruhan embankment di atas tanah lunak.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat LPPM, Universitas Khairun atas penyediaan dana penelitian skema PKUPT-Fakultas Teknik Tahun 2020. Terima juga kepada Laboratorium Mekanika Tanah-Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Khairun yang telah menyediakan fasilitas untuk pelaksanaan penelitian ini.

Daftar Kepustakaan

- Adriani dan Herliyana, 2012, Analisis Timbunan Pelebaran Jalan Simpang Serapat KM-17 Lingkar Utara, Info-Teknik: Jurnal Keilmuan dan Aplikasi Teknik, Vol.13.No.2., hal.13-22
- Das B.M, 1979, Introduction to Soil Mechanics, The IOWA State University Press, Edisi satu, hal.229 – 253.
- Departemen Pekerjaan Umum, 1999, Tata Cara Pelaksanaan fondasi *Cerucuk* Kayu di Atas Tanah Lembek dan Tanah Gambut, 029/T/BM/1999, PT. Mediatama Saptakarya.
- Departemen Pekerjaan Umum, 2005, Stabilisasi Dangkal Tanah untuk Konstruksi Timbunan Jalan (dengan Semen dan Cerucuk), Pd-11-2005, hal.1-57.
- Departemen Pekerjaan Umum, 2002, Timbunan Jalan pada Tanah Lunak, Panduan Geoteknik-4: Desain dan Konstruksi, WSP Internasional, Hal.1-105.
- Kolk H.J dan Velde E.Van der, 1996, A Realible Method to Determine Friction Capacity of Piles Driven into Clays, Conference: 28. Offshore Technology Conference, Houston, TX (United States), 6-9 May 1996, USA, hal.337-346.
- Koerner R.M, Bao-Hwu L dan Wayne M.H., Soft Soil Stabilization Designs Using Geosynthetics, Geotextiles and Geomembranes (6), hal.33-51.
- Rooseno, 1999, Karya ilmiah, Phenomena cerucuk kayu.
- Skempton AW, 1954, Discussion: Discussion of the Structure of Inorganic Soil, Proceedings – Separated (315), hal.19-22.
- Suheriyatna S.L., Imran A.M. and Harianto T., 2015, Full Scale Model Test of Consolidation Acceleration on Soft Soil Deposition with Combination of Timber Pile and PVD, IJIRAE, 2015, hal.23-28.
- Suyuti, Muhammad Rizal, Yuni Damayanti, 2020a, Prediksi CBR Lapangan pada Pondasi Matras di Atas Tanah Lunak Diperkuat Tiang-Tiang Bambu Menggunakan Formula Klasik Terzaghi, Teras Jurnal: Jurnal Teknik Sipil, Vol.10(1), hal.59-70.
- Suyuti, Kazuhide Sawada, Atsushi Yashima dan Shuji Moriguchi, 2020b, Stability Research of River Embankment on Soft Ground Using Traditional Reinforcement System in Indonesia, Disertasi, Faculty of Engineering and Graduate School of Engineering, Gifu University, Jepang, hal.16-50.
- Terzaghi K and Peck R.P., 1948, Soil Mechanics in Engineering Practice, Modern Asia Edition, John Wiley & Sons, Inc., New York, hal.137-199.

Yudiawati Yusti dan Marzuki, 2008, Pondasi Dangkal di Atas Tanah Lunak dengan Perkuatan *Cerucuk* Galam Berdasarkan Percobaan Lapangan, *Info-Teknik: Jurnal Keilmuan dan Aplikasi Teknik*, Vol.9.No.2, hal.212-217.